

絶縁性液体の帯電に関する研究 (第2報)^{※1}

絶縁性液体の受器タンクにおよぼす影響^{※2}

鳥 取 孝 太 郎

Studies on Static Electrification of Non-conductive Liquid

Kotaro TOTTORI

The fire hazards attributed to the spark discharge of the static electricity as an inevitable consequence by liquidity friction of non-conductive liquid, especially in handling petroleum products, were reported frequently and this tendency of such hazards becomes more and more increased. In the previous studies the observations and experiments of liquidity friction were introductively reported only about the static electrification of the transformer oil for the convenience.

In these reports, though far from perfect, the differences of the static potential characteristics on the outside wall of the tank which is insulated from earth and flowed in by charged non-conducting fluids i.e. transformer oil, gasoline or diesel kerosine, were compared experimentally. It is also cleared up theoretically and experimentally that static characteristics of such a charged oil tank insulated are affected on the leakage resistance and the static capacity of the tank and those of such a charged oil tank earthed are influenced by the specific resistance and the dielectric constant of the oil in the tank.

It is pointed out, for example, that the gauge equipment and the underground tank of a gasoline stand in present use have the possibility of the fire hazard by the ignition of a spark discharge under certain adequate circumstance.

〔I〕 総 説

近代工業における絶縁性の固体、粉体、液体の生産又は処理中、必然的に発生する静電現象はその生産作業工程に障害を与え、更にその放電火花による引火災害、所謂潜在災害が頻発する傾向にある。特に近時石油系可燃性精製油の量産と普及に伴い、その生産処理及び移動積載の際、かかる潜在災害に起因する火災爆発の可能性を重視すべきである。かつて筆者も便宜上高圧絶縁油についてその帯電現象に関する基礎的実験を試みていたが、たまたま昨年5月福井県勝山市某ガソリンスタンドでタンク車より地下タンクに給油中、静電気の放電火花による引火と推定された火災があり、また米国New JerseyのStandard Oil Companyでも近時過去10年間に静電気^{※1}に起因する災害が18件も惹起したとの報告によつても、吾が国においては小被害を加えると相当の被害件数があるものと推定される。従つて本文は絶縁性の石油系精製油中、主要な高圧絶縁油、軽油、ガソリンについて、その受器タンクによつて静電気の発生状態の基礎的実験経過とこれに関連する基礎的考察を記載する。

〔II〕 基 礎 的 実 験

絶縁性液体の流動源として 動的圧を加える給油ポンプ及び静的圧力を加える圧力釜を用いて、流

過工程の有無による流動摩擦に起因する静電特性を実測した。液体は比抵抗 $10^{14}\Omega\text{cm}$ 程度の高い絶縁性の高圧絶縁油、軽油及びガソリンを使用して、それ等の静電特性の比較を試みた。測定器は既報のポロニウム集電器を用いた測定範囲 $\pm 60\text{KV}$ の集電式電位測定器によった。受器タンクは例外を除き、測定の便宜上20ℓ容量の開放型直方体ブリキ罐を使用し、絶縁台としてパラフィン板を用い、その罐の側面で帯電液体の電位を上記測定器の集電器によって測定した。

(1) 小型加圧式濾過機によって

動的圧力で加圧給油する小型濾過機による実験装置は図-1に示す。その濾板及び濾枠はエポナイト製プレート型で、10cm角の濾紙2枚を挿入して1ユニットを形成する。その給油ポンプは歯車型で、原動機は流速を可変するため $\frac{1}{2}\text{HP}$ の単相直捲整流子電動機を用いた。まづ該装置で給油ポンプのみによる給油工程及び濾紙(No.26)を挿入した濾過給油工程において、受器タンクの静電特性を高圧絶縁油についてその流速、油温の変化による影響を測定した

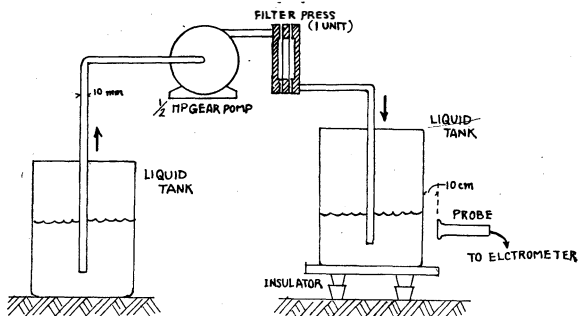


図-1 加圧式濾過機による実験装置

図-2及び図-3は給油ポンプのみによる給油工程において、絶縁油の流速及び油温の変化に伴う発生静電位の特性を示し、いずれも時間経過即ち受器タンク内に油の流入と共に静電位は漸増する。図-2では油温を一樣とし事例では常温 15°C 程度として、流速即ちモーター回転数を変化した場合で、発生静電位は負性で、流速の増加と共に高くなり、その最終電位は負性で、流速の増加と共に高くなり、その最終電位は500r.p.m.

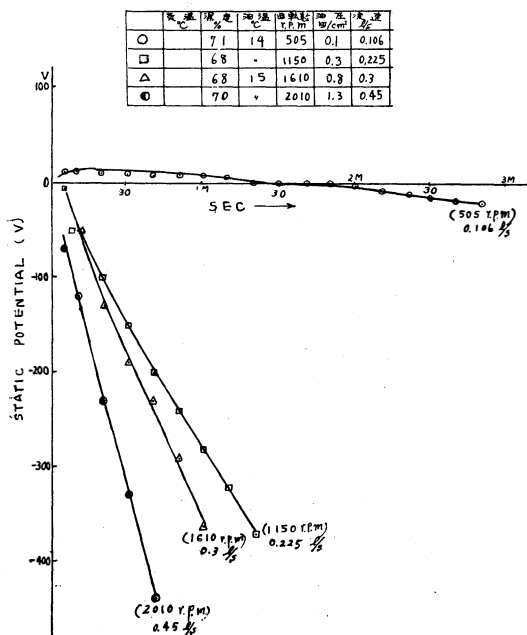


図-2 絶縁油の流速変化による静電特性

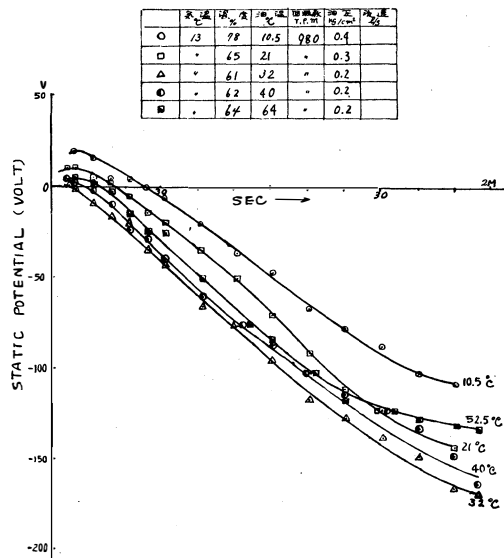


図-3 絶縁油の油温変化による静電特性

低速では数10V、1500r.p.m.をこえると350V程度を示した。図-3はモーター回転数を一樣とし事例では980r.p.m.程度とし、油温を変化せしめた場合で、電位は同様に負性を示し、その最終電位

は150V程度を示したが、油温の上昇と共に電位は高くなるが、油温がある限度事例では30°C程度をこえると低くなる傾向を示した。図-4及び図-5は同じ装置の濾枠に濾紙(No.26)2枚を挿入した絶縁油の濾過給油工程においてその流速及び油温の変化に伴う発生静電位の影響を示し、いづれ

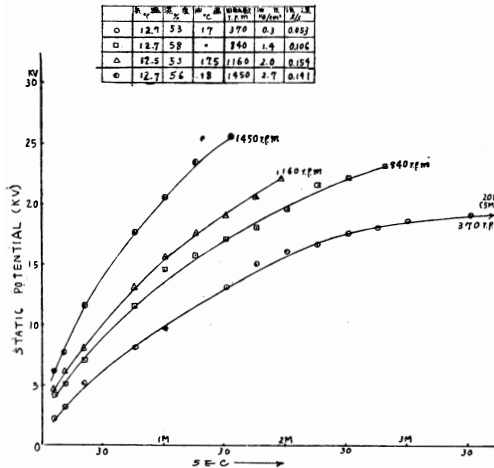


図-4 絶縁油の濾過工程における流速変化による静電特性

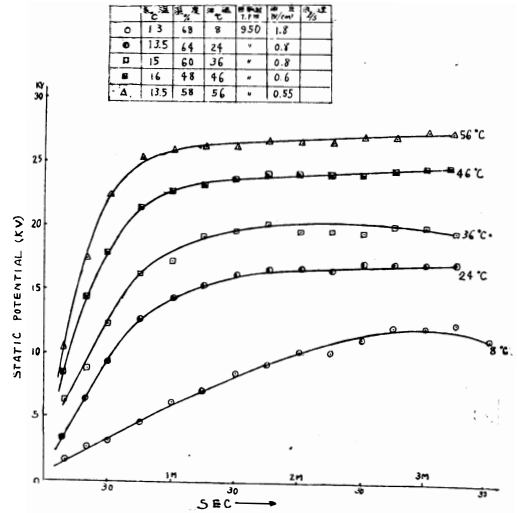


図-5 絶縁油の濾過工程における油温変化による静電特性

も時間経過と共に受器タンク内に油の流入に伴い、静電位は給油ポンプのみによる給油工程の場合に比べて急激に高く上昇する。図-4では油温を一樣とし、事例では12.5°C程度として、流速を変化した場合で、発生静電位は正で流速の増加と共に高く、その最終電位は400r.p.m程度の低速では15KV、1500r.p.m程度となると25KVを示した。図-5ではモーター回転数を事例では950r.p.m程度で一樣とし、油温を変化させた場合で、その最終電位は油温8°C程度の低温では10KVを示したが50°Cをこえると25KVを示し、その上昇傾斜度は油温上昇に伴い増加するが、その割合は減少する傾向がある。

次にガソリン、軽油についても同じ装置において、同様に流速及び油温変化による受器タンクの静電位の測定を試みた。ただし可燃性ガスが発生するので油の常温よりも10°C程度高い油温にとどめた。図-6及び図-7はガソリンの場合を示し、図-6は給油ポンプのみによる給油工程における流速及び油温の変化に対する静電特性を示し、500r.p.m内外の低速と1000r.p.m程度の高速とで比較すると油温が高くなると却つて静電位は低く目となる傾向が現れ、いづれもその最終電位は3KV程度を示した。図-7は濾紙2枚挿入による濾過工程における同じく流速及び油温変化による静電特性を示すが、この程度の油温差では発生静電位の

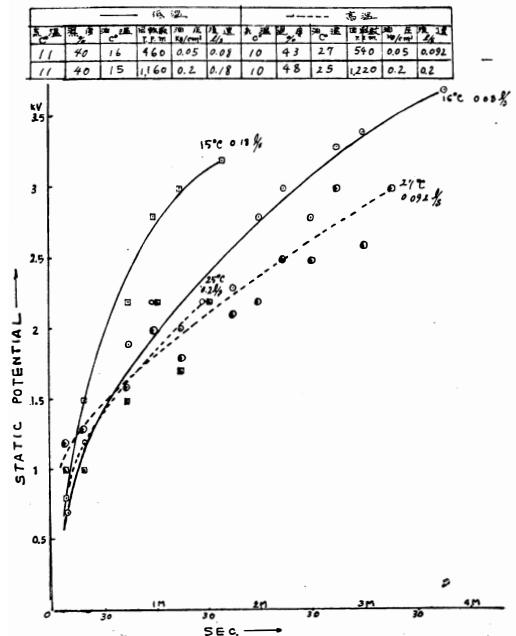


図-6 ガソリンの流速及び油温変化による静電特性

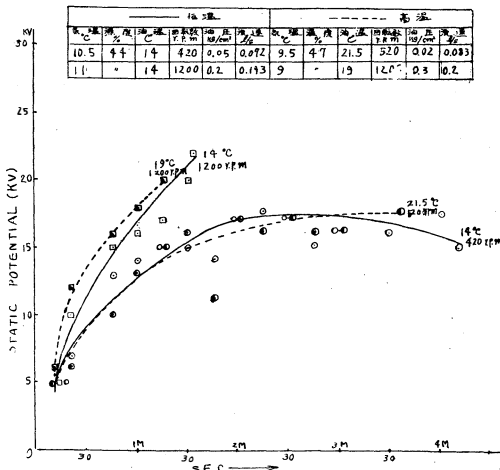


図-7 ガソリンの濾過工程における流速及び油温変化による静電特性

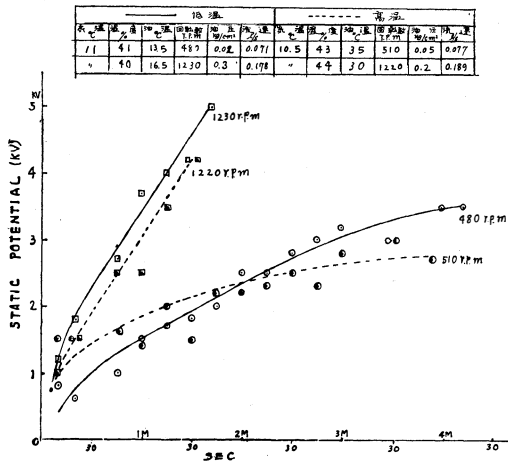


図-8 軽油の流速及び油温変化による静電特性

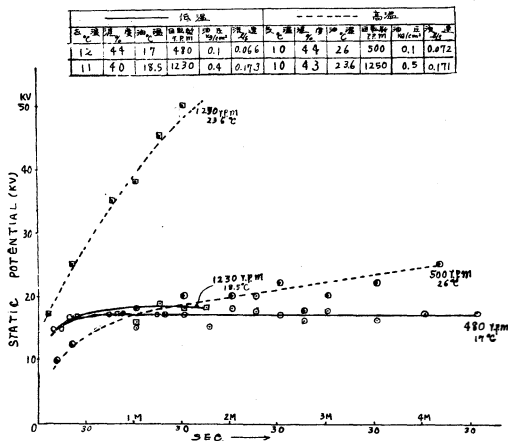


図-9 軽油の濾過工程における流速及び油温変化による静電特性

相違は少く、その最終電位は低速では15KV、高速では20KVを示した。図-8及び図-9は軽油の場合を示し、図-8は同じく給油ポンプのみによる給油工程における流速及び油温の変化に対する静電特性を示し、500r.p.m程度の低速と1200r.p.m程度の高速とで比べると油温が高くなるとガソリンの場合と同じく静電位は低く目となる傾向があり、いずれもその最終電位はガソリンのそれよりも高く3KV乃至5KVを示した。図-9は濾紙2枚挿入による濾過工程における同様の静電特性を示すが、油温18°C程度の低温では低速、高速でも相違は少くその最終値は20KV程度を示したが、油温23°C程度の高温で1200r.p.mで50KV程度の高い電位を示した。

なお、精製油について帯電傾向を比較するため、給油装置の濾紙の有無による上記各図から比較的類似している常温、常速の場合を撰んで、それ等の経過時間における電位漸増度を求めて図示したのが図-10である。濾紙の有

| 外紙 紙張 | 資料 | 回転数 r.p.m | 流速 % | 静電位(V) | | | | 電位漸増率(%) | | | | 備考 |
|----------|-----------|--------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-----|------|------|-----|
| | | | | 経過時間(sec) | | | | 経過時間(sec) | | | | |
| | | | | 15 | 30 | 60 | 90 | 15 | 30 | 60 | 90 | |
| 無 | 高級純油 | 1150 | 0.226 | -70 | -150 | -280 | -400 | -4.7 | -5 | -4.7 | -4.4 | 図-2 |
| | ガソリン | 1160 | 0.18 | 1250 | 2000 | 2750 | 3100 | 83.5 | 66 | 46 | 34.5 | 図-5 |
| | Diesel 軽油 | 1230 | 0.178 | 1500 | 2400 | 3600 | 4800 | 100 | 80 | 60 | 53.3 | 図-8 |
| 有 | 高級純油 | 1160 | 0.154 | 7000 | 10000 | 15500 | 18000 | 466 | 323 | 259 | 211 | 図-4 |
| | ガソリン | 1200 | 0.193 | 7000 | 12800 | 17800 | 21000 | 466 | 400 | 283 | 235 | 図-7 |
| | Diesel 軽油 | 1250 | 0.173 | 16300 | 18000 | 18500 | 19000 | 1126 | 600 | 309 | 211 | 図-9 |

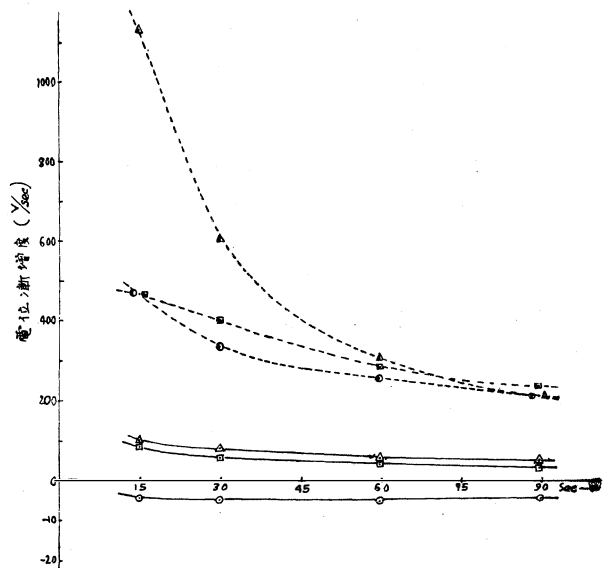


図-10 精製油の濾紙の有無による電位漸増度

い場合では絶縁油に対しガソリン、軽油は10数倍の帯電増加を示し、軽油はガソリンよりもやや高い帯電傾向を示す。濾紙を挿入した場合は、後記する如く毛細管の集合と見做され流動液体の接触面積は急激に増大し、従つて油の帯電は急激に増し、初期帯電漸増度は同じく絶縁油、ガソリン、軽油の序列で増大するが、90秒も経過すると殆んど同じ帯電状態を示した。また濾紙を挿入することにより、その無い場合とを初期電位漸増度で比較すると、絶縁油では50数倍、ガソリンでは6倍、軽油では5倍程度を示し、濾紙による影響は絶縁油が最も大きい。

(2) 压力釜を用いて

静的压力を加えて絶縁性液体の流動による静電現象を実験するために用いた压力釜装置は図-11に示す如く、その自由液面の压力を5HPの空気圧縮機で10気圧程度まで加圧し得、压力釜下低の流出口に内径10cmの濾過栓がある。压力釜内の自由液面に適当な気圧を加えて、流出管のバルブを開いて液体を流出せしめて、受器タンクの帯電液体の電位を測定した。

図-12は压力釜装置の濾過栓に濾紙を用えず、静的加圧のみによる場合の絶縁油及び軽油の油面压力変化による静電特性を比較したもので、受器タンクは特に70ℓ容量のものを使用し、図示の気圧を压力釜の自由油面に加えた。各精製油の油面

| 油圧 | 0 kg/cm ² | | | 1 kg/cm ² | | | 2 kg/cm ² | | | 3 kg/cm ² | | |
|-----|----------------------|----|------|----------------------|----|-----|----------------------|----|-----|----------------------|----|-----|
| 絶縁油 | 17 | 76 | 0.43 | 17 | 76 | 0.9 | 17 | 76 | 1.6 | 17 | 76 | 2.6 |
| 軽油 | 18 | 85 | 0.55 | 21.1 | 26 | | 21.1 | 26 | 1 | 21.1 | 26 | 2 |

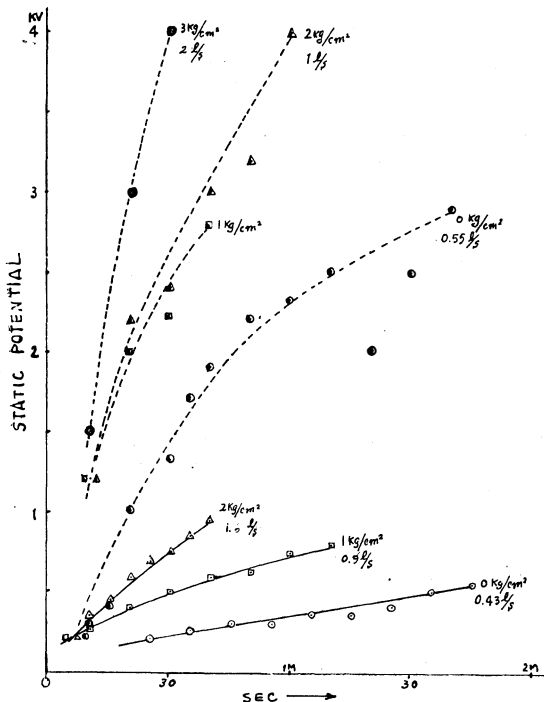


図-12 絶縁油及び軽油の油面压力変化による静電特性

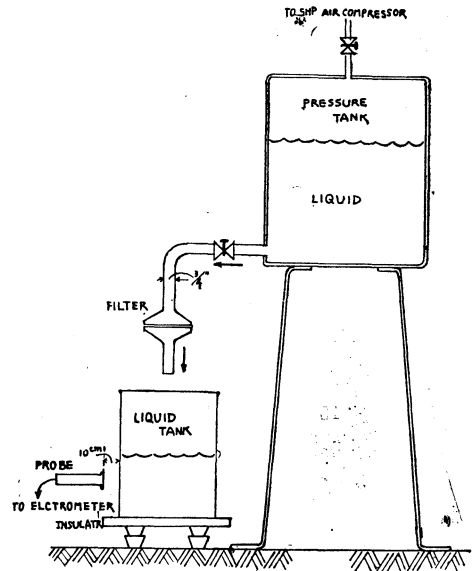


図-11 压力釜による実験装置

加圧による静電位最終値は大気圧では絶縁油では0.5KV、軽油では3KVを示し、また2 kg/cm²となると絶縁油では1KV、軽油では4KV程度を示し、勿論いずれも油面加圧の増量に伴い静電位も亦高くなり、軽油は絶縁油に比べて極めて高い電位を示した。

図-13は濾紙(No.6)1枚を濾過栓に挿入して同様の実験による精製油の静電特性の比較を示し、受器は20ℓ容量のブリキ罐を用いた。事例で3気圧で油面加圧の場合では、電位の最終値は軽油では25KV、ガソリンでは10KV、絶縁油では2KVを示し、5気圧となると軽油では40KV、絶縁油では10KVを示した。電位漸増割合では軽油、ガソリン、絶縁油の順で減少する。図-14は無鉛ガソリンを用い、濾過栓に挿入する同様の濾紙を1枚

| 油種 | 1 kg/cm ² | 3 kg/cm ² | 5 kg/cm ² |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| 圧入油 | 11.1 | 10.4 | 10.4 |
| 精製油 | 51.5 | 50.5 | 48.0 |
| 軽油 | 0.067 | 0.063 | 0.055 |
| 重油 | 1.0 | 0.95 | 0.8 |

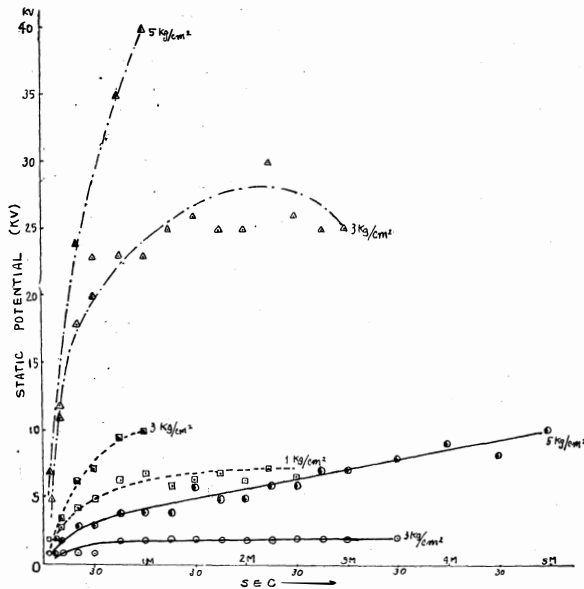


図-13 濾紙1枚挿入による精製油の静電特性の比較

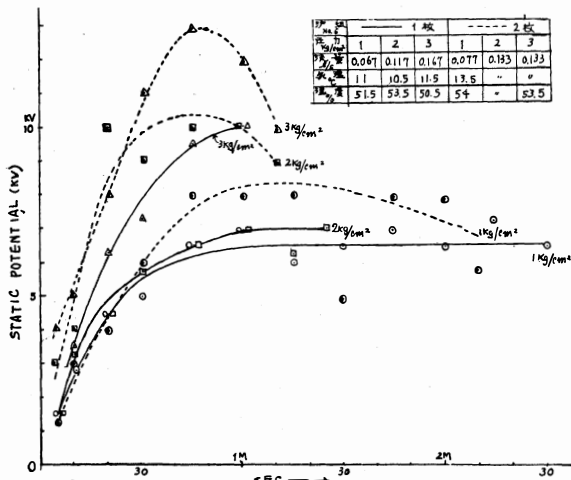


図-14 ガソリンの濾紙枚数及び油面加圧変化に伴ふ静電特性

記と同様の実験で、常圧における精製油の静電特性の比較を示す。図-15は金網1枚を挿入した場合の精製油の比較を示し、200mesh金網により生ずる電位は100meshのそれよりも多小低く目となるのは金網の接地効果の影響と推定される。図-16は軽油について金網を1枚、3枚、6枚と

の場合と2枚重ねて使用した場合において、油面加圧を1, 2, 3気圧と変化して生ずる静電位を比較したものを示す。濾紙枚数を増せば流量は減少するが、静電位は高くなる傾向があり、この事実は濾紙の種別が液体の帯電に影響することを示す。

なお図-15、図-16は濾紙の代りに100 mesh又は200meshの真鍮製金網を用いた上

| 金網 | 100 mesh | 200 mesh |
|-----|----------|----------|
| 圧入油 | 0 | 0 |
| 精製油 | 0.4 | 0.4 |
| 軽油 | 14.5 | 8.5 |
| 重油 | 43 | 50 |

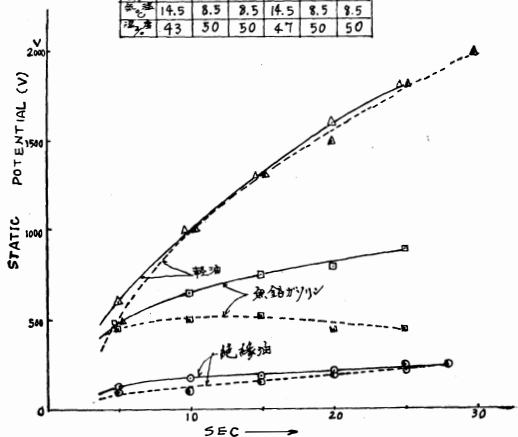


図-15 金網挿入による常圧における製精油の静電特性の比較

| 金網 | 100 mesh | 200 mesh |
|-----|----------|----------|
| 圧入油 | 1 | 1 |
| 精製油 | 3 | 3 |
| 軽油 | 6 | 6 |
| 重油 | 1 | 1 |
| 圧入油 | 3 | 3 |
| 精製油 | 6 | 6 |
| 軽油 | 1 | 1 |
| 重油 | 3 | 3 |

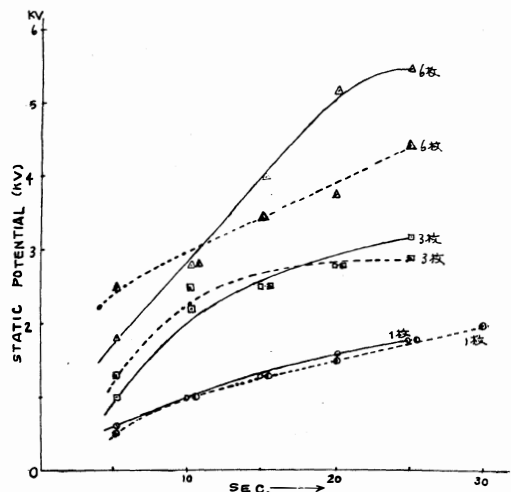


図-16 軽油の金網枚数変化による静電特性

重ねて挿入した場合で、金網の枚数増加と共に電位は増大する。

なお濾過枠における金網の有無による帯電傾向を比較するため、上記各図から比較的類似している常温、常圧の場合を撰んで、200mesh金網の有無による経過時間における電位漸増度を求めて図示したのが図-17である。金網を用いると、電位漸増度は絶縁油の場合では多少増加を示し、軽油の場合は約2倍増加を示し、接地した金網の除電効果は認められない。いずれの場合も精製油の電位漸増序列は同じく絶縁油、ガソリン、軽油の順で高くなる。

(3) ガソリンスタンドを用いて

営業用ガソリンスタンドの計量装置は上記(1)の小型加圧式濾過装置における給油工程と類似するので、その計量装置の $\frac{3}{4}$ 時ホースから流出するガソリン又は軽油を同様の20ℓ容量受器タンクに15ℓを流入せしめて、その電位測定を試みた。

図-18はA, B, C, D石油精製会社四社の精製油ガソリン、軽油について、殆んど同じ地域に存在する各社営業用計量装置から流出するそれ等精製油の受器の静電位を測定し、その比較を示した。計量装置はA社ではT.K製、B社も同じくT.K製、C社ではT.T製、D社ではT.U製が使用されている。軽油、ガソリンの電位漸増傾向の差違ではA社が最も大きく、B社はやゝ大きく、D社は殆んど同じであり、又C社は正負のばらつきがあり、これ等の傾向は各社精製油の物理的、化学的性質の相違即ち原油の性質、精製方法等により影響するものと推定されるが、尚爾後の研究を必要とするが、いずれも実験(1)の図-2、図-8、図-10等と同様の帯電漸増傾向を示す。また本現場実験も実験(1)及び(2)の場合と同様、計量装置が接地され、見掛けの電位が零であつても、絶縁された受器タンクに斯様な静電気の存在は注目すべきことである。

いまガス爆発に必要な火花放電の最小エネルギーは0.2mJであり、その放電エネルギーは $\frac{1}{2}CV^2$ であるから、使用する受器タンクの静電容量Cを20 μF とすると、注油による受器の電位Vが4.5KV以上に達すると、濃度5vol%以上の可燃性ガスの存在においては、その放電火花による引火爆発を生ずる潜在災害の危険がある。従つて現用のスタンド計量装置においても、そのポンプ、濾過等の機構、機能について、場合によつては自動車のタイヤ、更にその油タンクの絶縁抵抗、静電容量についても、静電気の見地から検討すべき必要が認められる。

| 金網 200 mesh | 資料 | 加圧 kg/cm ² | 流速 ℓ/s | 静電位 (V) | | | | 電位漸増度 (V/sec) | | | | 備考 |
|-------------------|-----------|--------------------------|-----------|------------|------|------|------|---------------|------|------|------|----------------------------|
| | | | | 経過時間 (sec) | | | | 経過時間 (sec) | | | | |
| | | | | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 15 | 20 | 25 | |
| 無 | 高圧絶縁油 | 0 | 0.43 | | 125 | 150 | 200 | | 8.3 | 7.5 | 8 | 図-13 |
| | ガソリン | | | | | | | | | | | |
| | Diesel 軽油 | 0 | 0.55 | | 600 | 825 | 1080 | | 4.0 | 41.3 | 42.2 | |
| 有 | 高圧絶縁油 | 0 | 0.4 | 180 | 190 | 200 | 220 | 18 | 12.7 | 10 | 8.9 | 図-14 電圧 10kV 電流 10mA |
| | ガソリン | 0 | 0.4 | 650 | 750 | 820 | 900 | 69 | 50 | 41 | 36 | |
| | Diesel 軽油 | 0 | 0.4 | 1000 | 1300 | 1600 | 1800 | 100 | 86.7 | 80 | 72 | |
| | | | | | | | | | | | | |

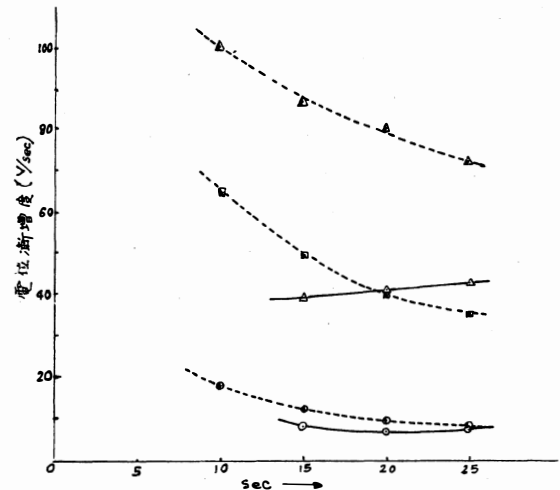


図-17 精製油の金網の有無による電位漸増度

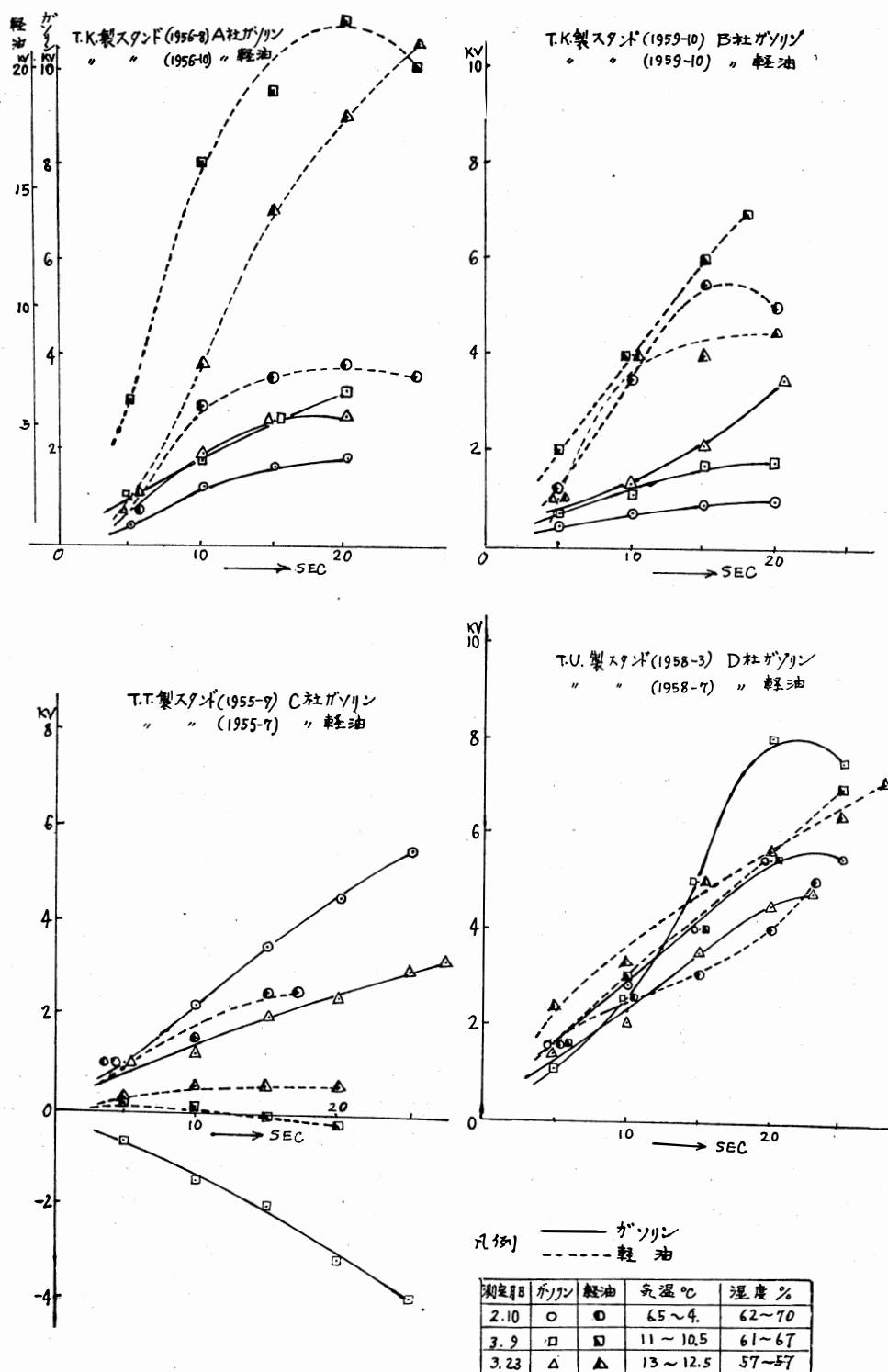


図-18 ガソリンスタンドによる各社製品の静電特性

〔Ⅲ〕基 礎 的 考 察

〔Ⅱ〕の(1)及び(2)の実験過程に示す如く、動的又は静的加圧により絶縁性液体が流動する際、必然的に発生する静電気⁽²⁾の軽減、除去対策としては、まづ(a)発生機構、(b)表面電荷、(c)空間電荷の三つの基本的見地から考察する必要がある。

一体、物体の帯電現象において、金属の如き導電性のものでは電気伝導が容易なため、電荷はその表面のみに存在し、その内部には存在しない、所謂表面電荷のみであり、接地すれば表面電荷は除去される。電気機器の接地はこの表面電荷の除去に外ならぬ。また精製油の如き絶縁性のものでは電気伝導が困難なため、発生電荷はその表面のみならず、その内部にも存在し、所謂空間電荷として存在する。接地すれば空間電荷は電荷相互間の反撥力又は中和により漸減するとしても急激に除去し難い傾向がある。空間電荷の代表的なのは雷雲であり、ボイラの安全弁、スチーム配管等から噴射する蒸気霧も亦空間電荷を形成する。本実験における受器タンク内の精製油も空間電荷を形成し、たとい油の固有抵抗が低く空間電荷が消滅しても受器タンクが絶縁されている限り受器の電位は変わらないが、とにかく受器タンクの測定電位は間接的に空間電荷の存在を示す。

図-19は帯電体とその導電性受器との静電的關係を模形的に示す。図(a)は帯電した導体即ち導電性物体が次第に受器中に挿入されると、受器の内側には帯電体と異符号同量の電荷が誘導され、その外側には同符号同量の電荷が誘導されるが、受器の底に接触すると帯電体の電荷と受器内側の電荷は中和消失し受器外側の電荷のみが残る。いま受器を接地すると、これ等の電荷も亦消失する。図(b)では帯電した絶縁性物体を受器内に挿入すると図(a)と同様の帯電現象を生ずるが受器の底と接触しても、受器内部の正負の電荷は

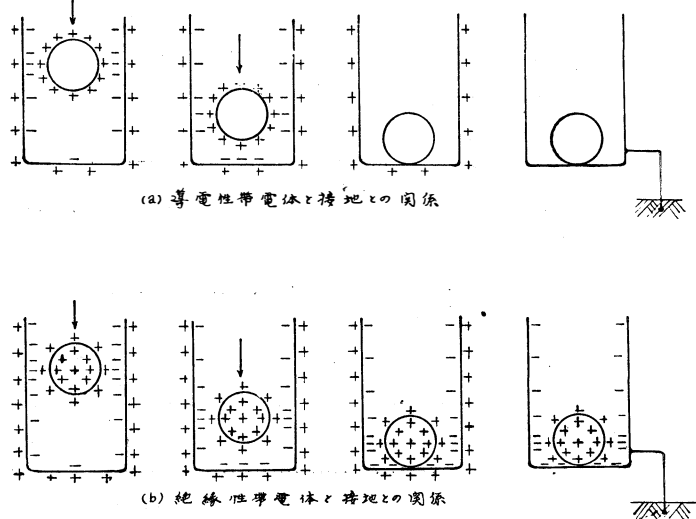


図-19 受器と帯電体との静電誘導と接地の関係

勿論、その外側の電荷も存在する。いま受器を接地すると、その外側の電荷は消失するが、その内部の正負の電荷は依然として存在する。従つて帯電した精製油とその受器との間においても図(b)と同様の静電現象の生ずることは明かである。

次に固体と液体との界面では所謂電気二重層が生じ、界面電気現象として、その成因、構造⁽³⁾に関し種々の考察が示されている。これによると図-20に示す如く、二つの異なる物体が接触すると、それ等の接触界面には電氣的二重層が生じ、いずれか一方が正に、他方が負に帯電す

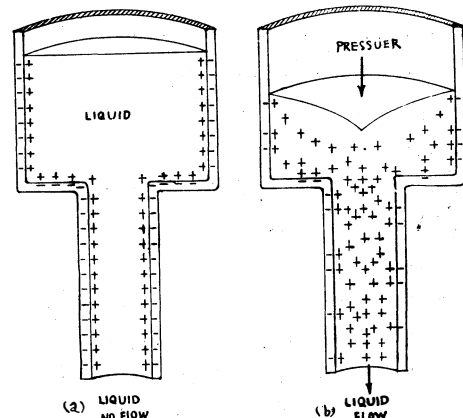


図-20 液体の界面電気現象

る。図(a)は液体が静止の場合で接触する液面は正に、壁面は負に帯電する場合の電気二重層を示し、其の界面に電位差所謂界面静電位が生ずる。さて二つの物体の接触でも、液体と壁との接触は固体間のそれよりも密着性は高く、その層間距離は分子の距離程度で相対する。従つてこの接触層間の静電容量は固体間のそれよりも極めて大きい一種の蓄電器を形成するものと見做し得る。いま図(b)の如く液面の自由液面を静的圧力で加圧すれば液体は流動し始め、流速が増すに伴つて壁面から離脱し始め、この際相界には流れの方向に電位差所謂界面動電位が生じ、後記(1)式に準ずる流動電位のため電荷も亦増量することは明かである。液体が層流から乱流へと攪乱し始めると、離脱した電荷は流動液体内に混流して後記(2)式に準ずる電流が所謂空間電荷の移動となつて表れる。斯様にして帯電された流動液体を絶縁した受器タンクに流入せしめると、この受器も亦帯電することは本実験による受器の電位測定によつて示す通りである。

さて固体と液体との界面に生ずる電気二重層において液相電荷が液の流動に伴い移動することによつて生ずる電位差に関し、Helmholtz等により毛細管中に液体を入れその両端に一定の圧を加えて液体が管中を移動すると、管の両端に電位差所謂流動電位 E が次式で示された。

$$E = \frac{\zeta P \rho \epsilon}{\eta} \dots \dots \dots (1)$$

但し ζ = 界面動電位, η = 液体の内部摩擦係数, P = 毛細管の両端の圧差, ρ = 液体の固有抵抗
 ϵ = 液体の誘電率

濾紙は毛細管の集合と見做されるから、(1)式は上記実験における濾紙挿入の場合に適用され、従つて濾紙の無い場合に比べて受器タンクの電位が激増することも、また油の種類、濾紙両面の圧差により電位漸増特性の差違の生ずることは既載の実験による図示によつても明かである。

また絶縁性液体の流動摩擦による帯電現象に関して、W.M.Bustin等⁽¹⁾によつてパイプライン中に流れる液体の乱流によつて発する電流を理論的に次式の如く導いた。

$$I = (TKV^{1.75}) \left(1 - e^{-\frac{L}{TV}}\right) \dots \dots \dots (2)$$

但し I = 給油パイプに生ずる電流, T = 油の時定数 ($\rho \times \epsilon$), K = パイプの直径及び油との界面によつて定まる係数, V = 流速, e = 自然対数の底数, L = パイプの長さ
 簡単のため非常に長い給油パイプとすると

$$I = TKV^{1.75} \dots \dots \dots (3)$$

(3)式について、給油装置における液体との接触面をパイプラインのそれに類似して考えると、給油装置系統に給油中発生する電荷の発生割合は油の時定数(固有抵抗 ρ と誘電率 ϵ との積)即ち油の種類によつて異なり、またその発生量は流速の増加と共に増量する傾向を示すことは既載の実験による図示によつてもまた明かである。

さて給油装置系統において給油中発生した(2)或は(3)式に準ずる如き電荷が受器タンクに流入すると、受器の絶縁及び静電遮蔽が完全であれば、受器の電位は直線的に上昇する。しかし受器の理想的な絶縁、完全な静電遮蔽はあり得ないので、受器の測定電位はその絶縁即ち絶縁抵抗、静電容量に支配される。また受器中の帯電した油の電荷減衰はその絶縁とは無関係に油の固有抵抗、誘電率に支配される。

いま受器タンクの絶縁抵抗を R 、静電容量を C とし、受器に単位時間に流入する電荷を I 、受器から大地に逃げる漏洩電流を i とすれば、受器中の油には電荷の減衰がないと仮定して t 時間後の受器の電位 v 、電荷 q には次の関係が成立する。

$$q = It - \int i dt, \quad i = \frac{v}{R}, \quad v = \frac{C}{q}$$

従つて次式を得る

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{CR}v = \frac{I}{C}$$

之を解くと

$$v = RI(1 - e^{-\frac{1}{CR}t}) \dots \dots \dots (4)$$

また流入停止直後の受器の電位をE, 電荷をQとすると, t時間後の受器の電位v, 電荷qには次の関係が成立する

$$q = Q - \int i dt, \quad i = \frac{v}{R}, \quad v = \frac{C}{q}$$

よつて次式を得る

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{CR}v = 0$$

之を解くと

$$v = Ee^{-\frac{1}{CR}t} = \frac{Q}{C}e^{-\frac{1}{CR}t} \dots \dots \dots (5)$$

(3)又は(4)式は受器のC, Rによつて定まる帯電した液体の流入又は停止過程における受器の漸増又は漸減する電位を示す。

また受器中の帯電液体の電荷減衰については簡単のため受器を接地した場合とし, 受器に単位時間に流入する電荷をI, 液体から容器内壁に漏洩する電流を*i*とし, t時間後の受器中の電荷qは

$$q = It - \int i dt$$

然るにその際容器内壁の平均電界強度Eは

$$E = \frac{q}{S} = \frac{1}{\epsilon} \dots \dots \dots (6)$$

但し ϵ = 液体の誘電率 S = t時間における容器と液体との接触面積
すると受器内壁面の全漏洩電流*i*は

$$i = \frac{E}{\rho} S = \frac{q}{\rho \epsilon} \dots \dots \dots (7)$$

但し ρ = 液体の固有抵抗

従つて次式を得る

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\rho \epsilon} = I$$

之を解くと

$$q = \rho \epsilon I(1 - e^{-\frac{1}{\rho \epsilon}t}) \dots \dots \dots (8)$$

次に流入停止直後の受器内の電荷をQとすると, t時間後の容器内の電荷qは

$$q = Q - \int i dt$$

従つて次式を得る

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\rho \epsilon} = 0$$

之を解くと

$$q = Qe^{-\frac{1}{\rho \epsilon}t} \dots \dots \dots (9)$$

(7)及び(8)式から油中の電荷減衰はその時定数 $\rho\epsilon$ に支配される。なを(6)式の電界強度を平均値としたのは帯電した油中の電荷の分布は一様でないからである。事例の図-21は絶縁油用ドラム缶洗滌油槽について、その自由油面 (4.2m×1.2m) の電位分布を実測したもので、油面上最高 8KV、最低 0.5KV 程度を示し、槽底の流入口に対する油面の近傍が電位が比較的高い。

なお(4)及び(5)式に示す絶縁した受器タンクの電位の漸増及び漸減曲線を、電位測定器に接続した μA 記録装置を用

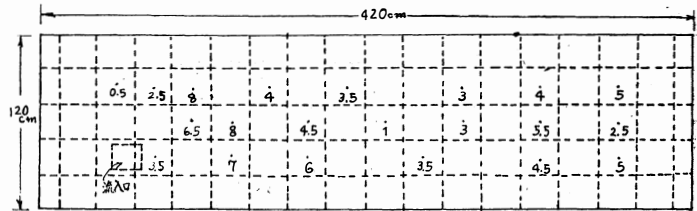


図-21 絶縁油槽の自由油面の電位分布 (単位K,V)

いてその変化の状態を記録した一例を示したのが図-22、図-23である。いずれも実験Ⅱ(2)の図-13で示した圧力釜装置によつて濾紙1枚を用いた場合のガソリン及び軽油の記録図である。図-22はガソリンの場合で、その自由油面の加圧を1気圧、2気圧、3気圧と変えて流入する受器の電位が平衡電位に漸近しつつある漸増状態と、更にその流入停止後の残留電位が漸減する状態を示す。

図-23は軽油の場合で、その自由油面の加圧を3気圧、4気圧5気圧と変えて、同じく受器の電

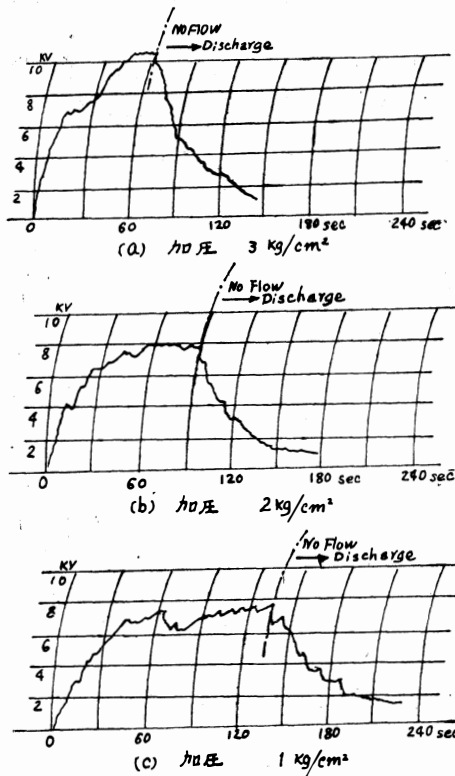


図-22 無鉛ガソリンの加圧変化による静電特性

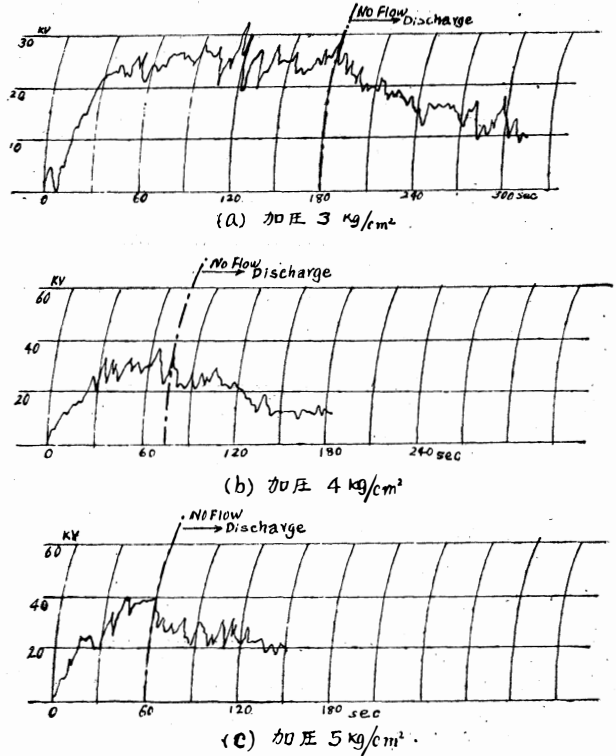


図-23 Diesel軽油加圧変化による静電特性

位の漸増状態と、更にその流入停止後の残蓄電位の漸減状態を示す。いま流入停止後の電位漸減割合を便宜上ガソリンでは30秒、軽油では60秒経過の平均値として求めると前者は180V/sec、後者は230V/sec程度で、いずれも200V/sec内外の漸減割合を示すことにより、受器タンクの静電位の漸

増、漸減曲線は時定数 CR で支配されることを実験的にも確かめられる。

さて油の給油工程中、必然的に発生する静電気による潜在災害の防止、特に受器タンクでは(8)又は(9)式による接地しても除去できない油中の電荷のため生ずる自由液面の静電位が放電火花を生ずる危険がある。いま放電火花の因となる帯電液体と接地との関係を図-24で模型的に示す。図(a)

はタンクが大地から絶縁されている場合で、

(4)式に準じて注油による帯電液体の電位はタンクの CR に従って上昇し、適当な条件ではタンク外側から大地に向つての放電火花を生ずる可能性があり、また油中の電荷も亦その自由液面に高電位面を生じせしめてタンク内壁に向つての放電火花の可能性もあり得る。図(b)はタンクが接地された場合で、(8)式に準じて注油の際、油中の電荷がその時定数 $\rho\epsilon$ に支配されて上昇し、

その外側の電荷は除去されても、その内側の自由油面に生ずる高電位面によつて図(a)の場合と同じくタンク内壁に向つての放電火花の可能性は除去されない。既述のガソリンスタンドにおける地下タンクへの補給時の際該タンクより惹起した福井県での発火災害は(8)式に基く油の時定数に従つて電荷の漸増過程における図(b)の場合の原因と推定される。

従つて油タンクでは接地しても除去できない自由液面からの放電火花の防止対策⁽¹⁾⁽²⁾としては種々の方法が実施又は実験過程にある。従来の固定大型の油タンクの円錐屋根式は浮屋根式に代りつつあり、之はタンク内の自由液面上の空間を無くして可燃性揮発ガスの発生と自由液面の静電気除去を目的とした方式である。船積の如き移動式タンクでは不活性ガス特に炭酸ガスを自由液面上の空間に充填しながら注油する方式も実用化されている。^{*}Relaxation tank、と称し帯電液体が(8)式に基づいて電荷が漸減する過程を利用して、給油過程によつて生ずる電荷を一旦このタンクで漸減して主タンクに流入する方式も実験研究されている。また精製油に導電性添加物を加えて、その固有抵抗を低くする研究も考慮されている。

〔Ⅲ〕 結 論

以上不十分で、なを実験途上にある成果ではあるが、絶縁油、ガソリン、軽油等の如き精製油について、その流動により必然的に発生する静電荷を、絶縁した受器タンクに流入せしめて、精製油の静電特性の差異を実験的比較を試みた。またかかる静電特性は受器タンクの絶縁性に支配されること、更に接地した受器タンクでも油中の電荷がその固有抵抗、誘電率に基いて電荷の残存する傾向を明かにした。従つて現用されているガソリンスタンドの計量装置及び地下タンクも、場合によつては放電火花による引火災害の危険があり得る可能性を指摘した。なを実施又は研究されつつある二、三の静電気による潜在災害防止対策についての事例を附記した。

終りに当つて本文完成に際し、種々の御助言を下さつた本学森教授、全精錬研究室工博森棟教授電気試験所工博木脇技官、また本実験実施に際し、御協力、御援助を賜つた本県警察部鑑識課、北陸電力K研究所、KK中尾瀧布研究所、石油大手四社の地元各営業所、特に本実験の一部を実施させて載いた丸善石油KK下津製油所等の関係各位に対し深甚なる謝意を表する。

※ 1 : 既報の富大紀要第11巻(昭35-3月)記載の「液体の帯電現象に関する研究」を「絶縁性液体の帯電に関する研究第1報」とする

※ 2 : 本報の一部は昭35-7月電気四学会連合大会(絶縁性液体の帯電現象とその危害につい

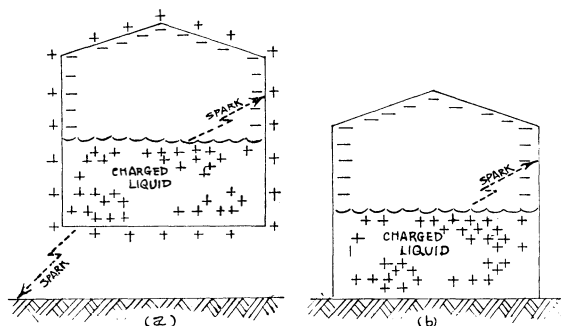


図-24 受器の帯電液体と接地との関係

て)：昭35-10月電気三学会北陸大会(ガソリンスタンドの潜在災害について，帯電した絶縁性液体の受器タンクについて)において発表した。

文 献

- (1) W.M.Bustin Release Afternoon General Considerations of Static
 T.L.Culbertson : Papers Tuesday Electricity in Petroleum Products
 C.E.Schleckser Nov.12,1957
- (2) J.C.Howard : Petroleum Refiner The Hazards of Static
 Nov. 1959 Electricity
- (3) 駒形作次：界面電気化学概要(昭23-2)

| 頁 ・ 行 目 | 誤 | 正 | 頁 ・ 行 目 | 誤 | 正 |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------|---|---|
| 11頁 表中 3行目 | 直列エンデンサ損 | 直列コンデンサ損 | 115頁 図-1 | $(Zn^{++}(cd^{++})-Cd^{++})$ | $(Zn^{++}+Cd^{++})-Cd^{++}$ |
| 11頁 表中 B列 | 垂 数 | 乗 数 | 118頁 | Abs.ract : 4行目 | students |
| 11頁 下より7行目 | 界磁々東による鉄損 | 界磁々東による鉄損 | " 4行目 | Coubustion | Combustion |
| 23頁 最後の行 | $V = \frac{C}{q}$ | $V = \frac{b}{C}$ | " 12行目 | Combusitility | Combustibility |
| 29頁 7行目 | $V = \frac{C}{q}$ | $V = \frac{q}{C}$ | 123頁 図-1 | Tcrit | Xcrit |
| 33頁 5行目 | thio | thio- | | Smin | 上の点線の位置 |
| 52頁 9行目 | 液相成 | 液組成 | | Sminの跡に | fを書く |
| 52頁 下より3行目 | dC_{ClO} / dt | $-dC_{ClO} - dt$ | 128頁 上2行目 | 体積力が物 | 体積力が無 |
| 53頁 下より17行目 | $\int_{t_2}^{t_1}$ | $\int_{t_1}^{t_2}$ | 128頁 下2行目 | $p_1 > 0$ | $p > 0$ |
| 53頁 下より16行目 | Volume | volume | 130頁 下10行目 | $[h\chi_1 + h\chi_2 + h\chi_3]_{\alpha=\beta=0}$ | $[h\chi_1 + h\chi_2 + h\chi_3]_{\alpha=\beta=0} = 0$ |
| 54頁 最下行 | 907 | 607 | 132頁 上12行目 | $\left\{ 2n(n - \frac{\coth n\beta_1}{\beta_1} - Ko) \right\}$ | $\left\{ 2n(n - \frac{\coth n\beta_1}{\beta_1}) - Ko \right\}$ |
| 57頁 1行目 | 2.3 試薬およびカルシウ錯化合物 | 2.3 試薬およびカルシウム錯化合物 | 135頁 19行目 | $\sigma \times$ | σ_x |
| 58頁 2行目 | カルシウ 1 μ g/ml | カルシウム 1 μ g/ml | 139頁 17行目 | $\int \frac{dn}{\sqrt{1 - \frac{2}{k} rkn}}$ | $\int \frac{dn}{\sqrt{1 - \frac{2}{h} r_k n}}$ |
| 105頁 表-6 (10行目) | 0.2012 | 0.0012 | 139頁 17行目 | $\frac{-h}{r_k} \sqrt{1 - \frac{2}{h} rkn}$ | $\frac{-h}{r_k} \sqrt{1 - \frac{2}{h} r_k n}$ |
| 105頁 表-7 (4行目) | 94.50 | 94.60 | 141頁 6行目 | $LH\gamma_K^* \tan \frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_s^*}{n_{s-1}} - n_s^* \right)$ | $LH\gamma_K^* \tan \frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_s^*}{n_{s-1}} + n_s^* \right)$ |
| 111頁 表-1 | Cu, | Cu, | | p | p |
| 114頁 上より3行目 | 0.01%デッゾン | 0.01%ジチゾン | 159頁 下から11行目 | 総合有効径基準寸法 | 総合有効径の基準寸法 |
| 114頁 上より4行目 | くりかえす, | くりかえす。 | 161頁 10行目 | ナット内には生じた | ナット内に生じた |